

ITO 电加热玻璃表面减反膜设计

The design of anti-reflection coating on the surface of ITO electric-heated glass

深圳市圣柏林电热制品厂

Tel:0755-27749405 Fax:0755-61672286

摘要: 本文使用 TFCalc 软件设计和模拟 ITO 电加热玻璃表面减反膜, 得出在 ITO 玻璃基础上沉积氟化镁能有效的降低表面可见光反射率, 通过不同的膜系设计和优化可望获得最佳的减反膜设计。

关键词: ITO; TFCalc; 减反膜; 光学薄膜; 膜系设计理论

Abstract TFCalc which is a coating design soft is used to design and simulate Anti-reflection coating designed on the surface of ITO electric-heated glass in this article, we can conclude that a layer of MgF₂ deposited on the ITO glass can reduce the reflectivity of the coated ITO glass in the visible area, and different coating systems and optimization measures can be adopted to obtain a best Anti-reflection coating.

Keywords: ITO; TFCalc; anti-reflection coating; optical coating; theory of coating system design

中图分类号: O484.41; TQ171 **文献标识码:** B **文章编号:** 1003-8965 (2011)02-0040-04

1 引言

ITO 薄膜是一种 n 型半导体材料, 其在可见光区具有很高的透过率, 对红外光却有很强的反射, 这一性能使得 ITO 薄膜大量应用于热镜, 使寒冷环境下的视窗或太阳能收集器的视窗将热量保持在一封闭的空间里而起到热屏蔽作用。ITO 薄膜也具有有良好的导电性能, ITO 电加热玻璃广泛用于汽车、火车、电车、航天器等交通工具领域, 实现除冰化霜的功能^[1]。

值得注意的是, ITO 玻璃在实现热阻隔、电加热性能的同时, 表面可见光透过率会下降 10%。本文立足于 ITO 电加热玻璃表面的减反膜设计, 在保证电加热性能要求的前提下通过表面的减反处理实现 ITO 电加热玻璃在可见光区光透过率的提升。

2 ITO 薄膜的电学性能

对 In₂O₃ 和 SnO₂ 的能带研究表明, 符合化学计量比的 In₂O₃ 和 SnO₂ 均为宽禁带绝缘体。要得到导电且对可见光透明的薄膜, 则必须使其半导化。半导化的途径一般有两种: 一为组分缺陷(即

化学计量比偏移), 二是掺杂效应(即高价或低价离子替代)。一般同时采用上述两种半导化方法^[2]。

薄膜的方块电阻定义^[3]为:

$$R_{\square} = \rho / d$$

设满足电加热要求的 ITO 表面方块电阻为:

5~20 Ω/□, ITO 薄膜的电阻率为: $\rho = 5 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$, 则 ITO 薄膜的膜厚范围为:

$$d = \rho / R_{\square} = 5 \times 10^3 \Omega \cdot \text{nm} / (5 \sim 20 \Omega / \square) = 250 \sim 1000 \text{nm}$$

3 减反膜设计的理论基础

3.1 单层减反射膜^[4]

当光线从折射率为 n_0 的介质射入折射率为 n_1 的介质中时, 界面的反射率为:

$$R = \left(\frac{n_0 - n_1}{n_0 + n_1} \right)^2$$

玻璃折射率为 1.52, 则表面反射率约为 4.2%。

为了减少玻璃表面的反射光, 可以在玻璃表面沉淀一层低折射率薄膜。理想单层减反射膜的条件是, 膜层的光学厚度为 1/4 波长, 其折射率为入射介质和基片折射率乘积的平方根。对玻璃而言, 理想减反射膜的折射率为 1.23, 但至今能利用薄膜的最低折射率为 1.38 (氟化镁), 这虽

不理想，但也使透射特性得到了相当的改进。

3.2 多层减反射膜^[4]

对于大多数应用来说，单层减反射膜的减反效果并不理想，剩余反射还显得太高。可以采用几种折射率不同的均匀膜构成减反射膜，即多层减反射膜来提高单层膜的性能。

3.2.1 V形膜

在玻璃基片上先沉积一层高折射率的 $\lambda_0/4$ 厚的膜层后，基片的折射率好像从 n_g 提高到 n_2^2/n_g ，然后再沉积 $\lambda_0/4$ 厚的氟化镁膜层就能起到更好的增透效果。但对偏离 λ_0 的波长，不能用 $Y=n_2^2/n_g$ 等价处理，表面反射曲线显著增加，光谱反射率曲线成 V 字形。这种 $\lambda_0/4-\lambda_0/4$ 双层减反射膜称为 V 形膜。

3.2.2 W形膜

V 形膜只能在较窄的光谱范围内有效地减反射，因此仅适宜于在工作波段较窄的系统中应用。厚度为 $\lambda_0/4-\lambda_0/2$ 的双层减反射膜，在中心波长 λ_0 的两侧可望有两个反射率极小值，光谱反射率曲线呈 W 字形。这种双层减反射膜称为 W 形膜。

3.2.3 多层减反射膜

双层减反射膜的特性比单层膜要优越的多，但是在许多应用例子中，即使是一个理想的双层膜还是会形成过大的反射率或不适宜的光谱带宽度，因此要用三层或者更多层的减反射膜。多层减反射膜是由 $1/4$ 波长层或半波长层构成的，可以看作是 $\lambda_0/4-\lambda_0/2$ W 形膜和 $\lambda_0/4-\lambda_0/4$ V 形膜的改进形式。

4 减反射膜系的软件模拟

本文采用 TFCalc 软件进行膜系优化和模拟，基片为玻璃，ITO 折射率为 2.0，低折射率薄膜为氟化镁（折射率为 1.38），中心波长为 550nm，考察波段为 400~700nm。

4.1 $5\lambda_0/4$ ITO- $\lambda_0/4$ MgF₂1/4 波长膜系

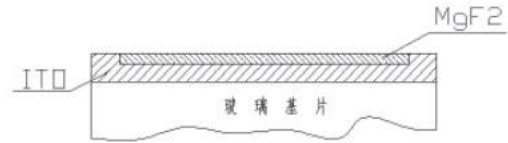


图 1 $5\lambda_0/4$ ITO - $\lambda_0/4$ MgF₂ 膜系结构示意图

首先在玻璃基片上一次性沉积 $1/4$ 波长整数倍厚度的 ITO 膜层，满足电加热性能要求；然后在 ITO 膜层的基础上沉积一层 $1/4$ 波长厚的氟化镁膜层，实现 ITO 电加热玻璃表面的减反性能。图 1 显示了膜系结构。

图 2 显示了 $5\lambda_0/4$ ITO - $\lambda_0/4$ MgF₂ 膜系 ITO 玻璃表面的反射率特性，ITO 总厚度约为 344nm，方块电阻为 $14.5\Omega/\square$ 。相同厚度的 ITO，未沉积减反射层（A 曲线）的 $R_{ave}\%$ 为 11.80%，沉积减反射层（B 曲线）的 $R_{ave}\%$ 为 2.68%。

由此可知，玻璃基片表面在沉积了 ITO 电加热膜后，表面的可见光反射率由 4.2% 上升至 11.8%，透光性能变坏，但在 ITO 膜的基础上再次沉积 $1/4$ 波长厚度的氟化镁后，表面的可见光反射率下降至 2.68%，低于基片玻璃的表面反射率，说明了沉积氟化镁层能实现 ITO 电加热玻璃表面可见光减反的要求。

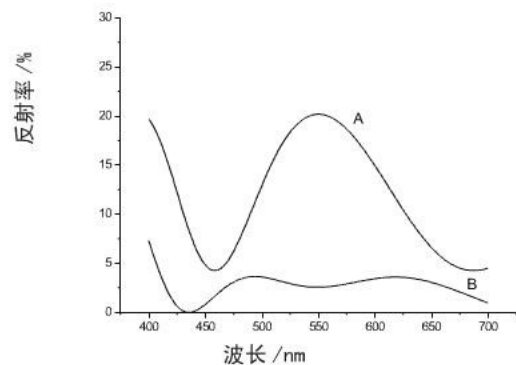


图 2 $5\lambda_0/4$ ITO - $\lambda_0/4$ MgF₂ 膜系减反射膜的反射率曲线

A: 未沉积减反射层, B: 沉积减反射层

4.2 AIR | MgF₂ | ITO | MgF₂ | ITO | MgF₂

ITO | G 非 1/4 波长膜系

在基片玻璃上依次沉积 ITO | MgF₂ 膜层组合以实现减反性能的要求，间隔的 ITO 膜层通过电阻并联措施实现低电阻值，满足电加热性能要求^[5]。图 3 显示了该膜系结构。

膜层的参数如表 1 所示。

图 4 显示了 AIR | MgF₂ | ITO | MgF₂ | ITO | MgF₂ | ITO | G 膜系的 ITO 玻璃表面的反射率特性，ITO 薄膜总厚度约为 400nm，表面方块电阻为 12.5Ω/□。相同厚度 ITO，未沉积减反射层的 R_{ave}% 为 13.85%，沉积减反射层的 R_{ave}% 为 0.78%。

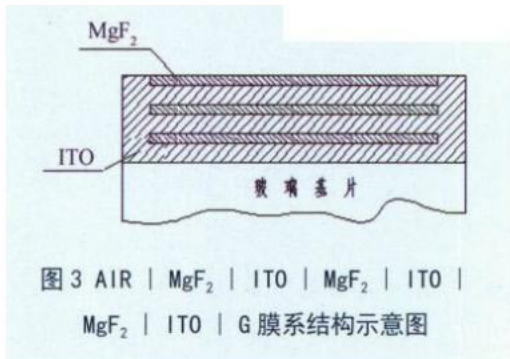


图 3 AIR | MgF₂ | ITO | MgF₂ | ITO | MgF₂ | ITO | G 膜系结构示意图

表 1 AIR | MgF₂ | ITO | MgF₂ | ITO | MgF₂ | ITO | G 结构减反膜膜层参数

膜层	材料	物理厚度 /nm
1	ITO	129.04
2	MgF ₂	191.14
3	ITO	134.27
4	MgF ₂	197.59
5	ITO	136.90
6	MgF ₂	98.52

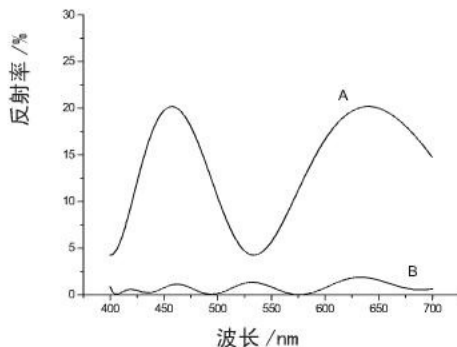


图 4 AIR | MgF₂ | ITO | MgF₂ | ITO | MgF₂ | ITO | G 结构减反膜反射率曲线

A: 未沉积减反射层, B: 沉积减反射层

由此可知，经过初步优化处理的非 1/4 波长膜系比前文的 1/4 波长膜系具有更优良的减反性能，可以解释为 ITO | MgF₂ 膜层的叠加在整个考察波段上出现了多个最佳减反搭配区域，从整体上拉低了表面反射率。

4.3 AIR | MgF₂ | ITO | MgF₂ | ITO | MgF₂ | ITO | MgF₂ | ITO | G 优化膜系

陈瑞改等^[5]通过多次优化处理，得到了性能更佳的膜系，其膜层参数如表 2 所示。

表 2 AIR | MgF₂ | ITO | MgF₂ | ITO | MgF₂ | ITO | MgF₂ | ITO | G 优化膜膜层参数

膜层	材料	物理厚度 /nm
1	ITO	19.91
2	MgF ₂	27.60
3	ITO	105.63
4	MgF ₂	5.84
5	ITO	50.64
6	MgF ₂	22.25
7	ITO	149.86
8	MgF ₂	95.32

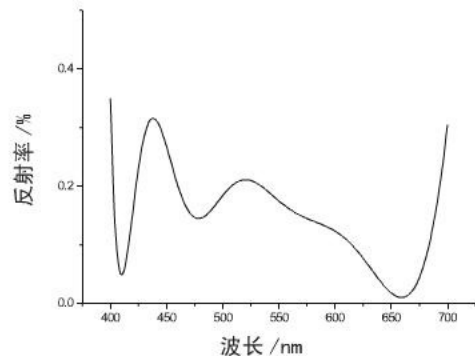


图 5 AIR | MgF₂ | ITO | MgF₂ | ITO | MgF₂ | ITO | MgF₂ | ITO | G 优化膜反射率曲线

图 5 显示了优化后的 ITO 减反膜反射率特性。ITO 薄膜总厚度约为 326nm，表面的 R_{ave}% 为 0.15%，较之前的膜系减反性能更佳。从表 2 的膜层参数来看，优化对于膜系中的 ITO 和氟化镁膜层厚度改动很大，主要是为了获得整个减反膜系的最佳搭配组合。从优化的结果来看，通过膜

层厚度的优化可以在增加 ITO | MgF₂ 膜层组合的基础上实现更低的表面反射率。

5 结论

通过 TFCalc 软件对 ITO 电加热玻璃表面减反膜的设计和模拟, 可以得出如下结论:

1) 在玻璃表面沉积 ITO 电加热膜可以实现电加热性能, 但同时损失了 ITO 电加热玻璃表面的可见光透过率;

2) 在 ITO 电加热玻璃的表面沉积一层 1/4 波长的氟化镁减反射膜可以降低玻璃表面的反射率, 提高可见光透过率 8% 左右;

3) 非 1/4 波长的 ITO | MgF₂ 组合叠加膜系较 1/4 波长的单层 ITO | MgF₂ 组合减反效果更好, 可以提高可见光透过率 >10%, 本文软件模拟显示 >13%;

4) 可以通过改变膜层厚度, 多次优化来进一步降低非 1/4 波长 ITO | MgF₂ 组合叠加膜系的表面反射率。

参考文献

[1]Jiang Xishun(江锡顺). Microstructure, Chemical

Composition and Photoelectrical Properties of ITO Transparent Conductive Films(ITO 透明导电薄膜的组分 / 微结构及其光电特性研究)[D]. Anhui(安徽): Anhui University(安徽大学), 2006: 21

[2]Zhang Shugao(张树高), Huang Boyun(黄伯云), Fang Xunhua(方勋华). Semiconducting Mechanism, Applications and Fabrication of ITO(ITO 薄膜的半导化机理、用途和制备方法)[J]. Materials Review(材料导报), 1997, 11(4): 11-12

[3]Jiang Xin(姜辛), Sun Chao(孙超), et al. Transparent Conductive Oxide Films(透明导电氧化物薄膜)[M]. Beijing(北京): Higher Education Press(高等教育出版社), 2008: 141

[4]Tang Jinfa(唐晋发), Gu Peifu(顾培夫), et al. Modern Optical Thin Film Technology(现代光学薄膜技术)[M]. Zhejiang(浙江): Zhejiang University Press(浙江大学出版社), 2006: 61-70

[5]Chen Ruigai(陈瑞改), Wu Yuliang(吴育良), et al. A New Method for High EMC Reliability Optical Windows Design Consisting of Multi ITO Films(一种具有多层 ITO 结构的高效屏蔽光学视窗)[J]. Advanced Display(现代显示), 2009, (102): 31-32

CTC 能力验证提供者顺利通过 CNAS 复评审和扩项评审

2011 年 3 月 18 日至 19 日, 中国合格评定国家认可委员会 (CNAS) 派出专家评审组, 对中国建筑材料检验认证中心有限公司能力验证提供者进行复评审和扩项评审。评审工作由组长关淑君主持, 中国建筑材料检验认证中心有限公司副总经理倪竹君, 化学部部长梅一飞, 材料辐射部部长李增宽, 技术质量部副部长张庆华, 校准与能力验证部部长王瑞海, 副部长朱晓玲等相关人员参加。

评审组考察了 CTC 能力验证工作的制样和检测现场, 根据 CNAS-CL03:2010《能力验证提供者认可准则》, 对我中心三年内实施的能力验证和测量审核进行审查。本次评审, 对我中心申请的水泥、粉煤灰、矿渣粉、混凝土外加剂、建材用石灰石、粘土、石膏、水泥用铁矿石、建筑涂料、胶黏剂、溶剂型木器涂料、建材放射性、煤的工业分析等共计 14 个产品 99 个参数的能力验证经历进行了详细的审查。本次评审还对我中心申请的保温材料的导热系数和建筑涂料的拉伸性能的能力验证经历进行了审查。

通过两天紧张的评审, 专家组一致认为 CTC 能力验证提供者开展的能力验证工作范围较上次评审有所拓展, 对扩增项目予以肯定, 并对能力验证在方案设计、样品制备、均匀性和稳定性检查、实验室环境、文件更新、数据处理等方面的工作予以了肯定。这一结果是对 CTC 能力验证提供者通过 CNAS 认可三年来工作的充分肯定, 为我中心能力验证工作的顺利开展提供了可靠保障。